



ILC実験におけるリトルヒッグス モデルに関する測定精度の評価

JPS 2011.9.17


東北大学 加藤恵里子

浅野雅樹、藤井恵介、
松本重貴、田窪洋介、山本均

小さな階層性問題

新物理が現れるエネルギースケールは2つ予言されている。

<Fine tuning>

$$m_{Higgs}^2 = m_0^2 + \delta m^2$$


測定される
ヒッグスの質量

裸の質量

補正項

Λ : エネルギースケール $\delta m^2 \approx (0.27\Lambda)^2$

$\Lambda < 1 \text{ TeV}$

<電弱相互作用の精密測定の結果>

$\Lambda > 10 \text{ TeV}$

⇒ 新物理の現れるべきエネルギースケールに矛盾がある。

⇒ **リトルヒッグス模型が提唱された。**

リトルヒッグス模型

<リトルヒッグス機構>

グローバル対称性: SU(5)

部分群: $[SU(2)_L \times U(1)_Y]^2$

$f \sim 1 \text{ TeV}$

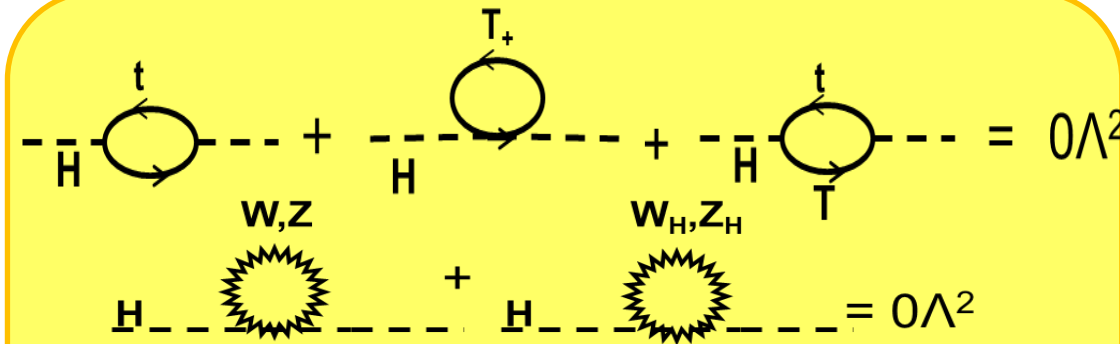
SO(5)

$v \sim \langle h \rangle$

$SU(2)_L \times U(1)_Y$

$U(1)_Y$

<ヒッグス質量への寄与>



二次発散が1-ループレベルで相殺

<リトルヒッグス模型の特性>

- トップパートナーの予言
- ゲージボゾンパートナーの予言
- 明確な模型パラメータの関係の予言 (リトルヒッグス機構)

小さな階層性問題を回避できる

Tパリティ課したリトレストヒッグス

標準模型粒子

Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	Higgs* boson
				T_+	

T-parity
↔

リトルヒッグス粒子

Quarks	u_- up	c_- charm	t_- top	γ_H photon	Force carriers
	d_- down	s_- strange	b_- bottom	Z_H Z boson	
	ν_{e-} electron neutrino	$\nu_{\mu-}$ muon neutrino	$\nu_{\tau-}$ tau neutrino	W_H W boson	
Leptons	e_- electron	μ_- muon	τ_- tau		Triplet Higgs boson
				T_-	

A_H : 暗黒物質候補

$$m_{W_H} \sim m_{Z_H} \sim g f$$

$$m_{A_H} \sim g' f / \sqrt{5}$$

$$m_{u_-} \sim m_{d_-} \sim \sqrt{2} k_q f$$

$$m_{e_-} \sim m_{\nu_-} \sim \sqrt{2} k_l f$$

<模型パラメータ>

LHTの予言する重いゲージボゾン, 重いレプトンは2パラメータで表される。

f(VEV): グローバル対称性の破れのエネルギースケール
 K : レプトン湯川結合

LHTの質量生成メカニズムとどのように小さな階層性問題を解決したのか、を知るのにおいて重要なパラメータ。

研究目的

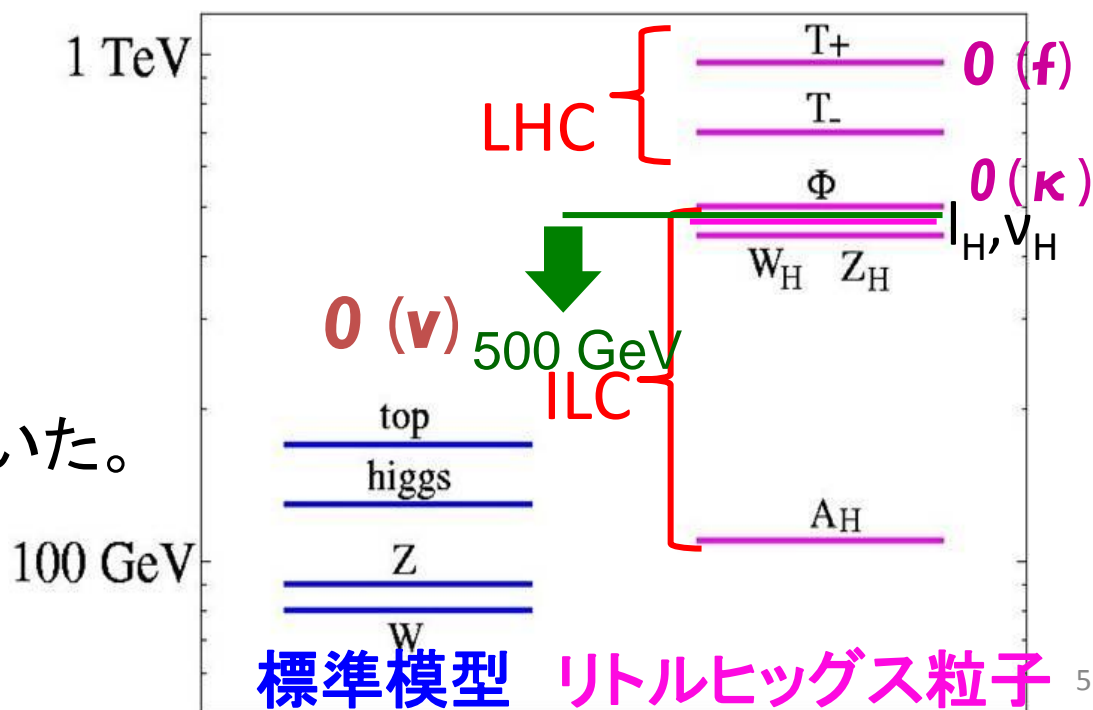
<ILCの測定精度の評価>

- 目的1 : 模型パラメータの抽出 (f&kappa)
- 目的2 : 質量スペクトラムの完成と模型パラメータとの一貫性をみる。(リトルヒッグス機構検証)

発見された粒子たちがLHTであるという強い証拠

K	f
0.5	580(GeV)

※Bases, Springの
イベントジェネレータ、
ファストシミュレータを用いた。



ILC (国際リニアコライダー)計画

<電子陽電子衝突型線形加速器>

全長 ~31km

重心系エネルギー: $\sqrt{s}=500\text{GeV}\sim 1\text{TeV}$

積分ルミノシティ(4年間)= 500fb^{-1}

電子偏極: $0\%\sim\pm 80\%$ 以上

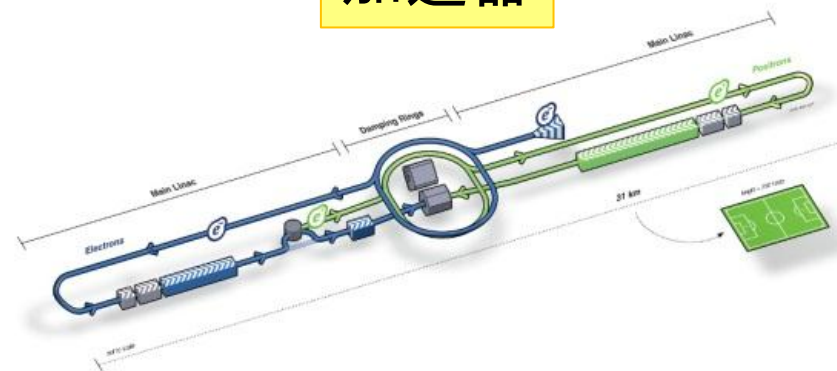
<測定器>

ジェットエネルギー分解能: $\Delta E/E=30\%/ \sqrt{E}(\text{GeV})$

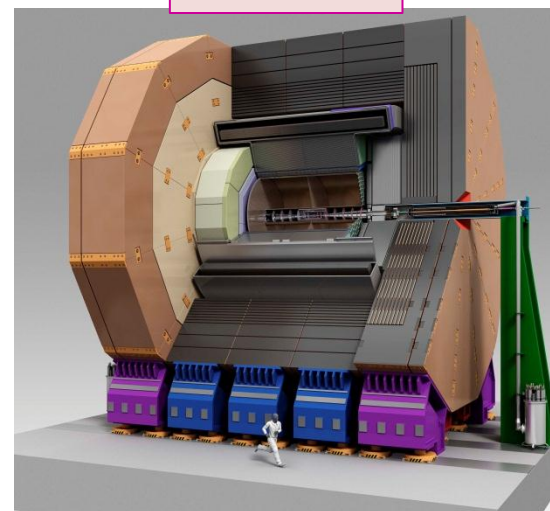
運動量分解能: $\Delta P_t/P_t^2=5 \times 10^{-5}(\text{GeV}/c)^{-1}$

背景事象が少なく
リトルヒッグス模型の
新粒子の精密測定可能

加速器



測定器



模型パラメータの選択

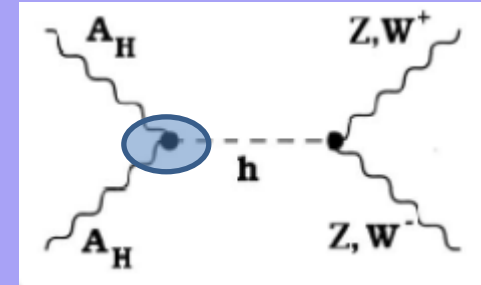
レプトンとゲージセクターは2つの模型パラメータで表される。

K	f	m_H
0.5	580(GeV)	134(GeV)

- * K small \rightarrow l_H, ν_H 質量小さい
- * K large \rightarrow 4 フェルミ相互作用の寄与が大きくなり、SMとのずれが大きくなる。

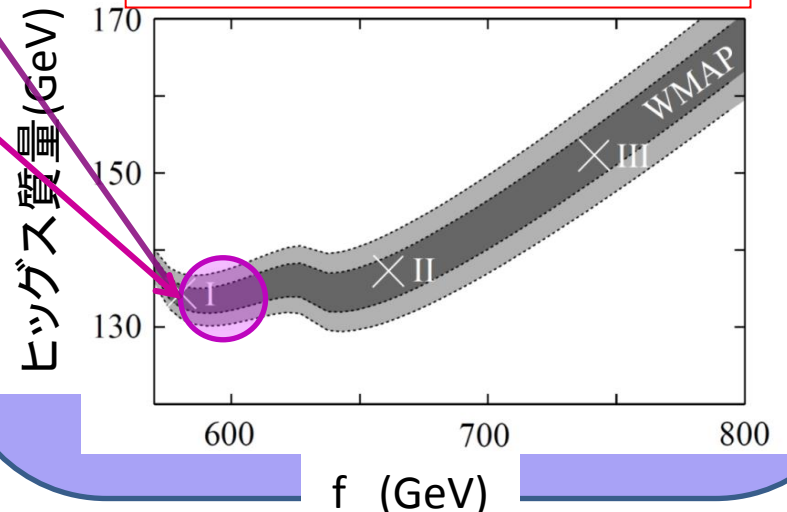
WMAPの暗黒物質残存密度

主な対消滅モード

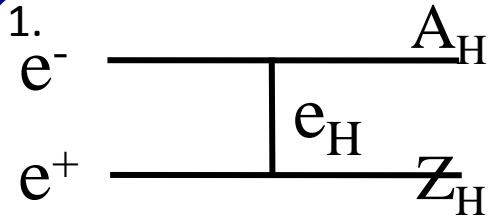


散乱断面積は m_{A_H} & m_H による。

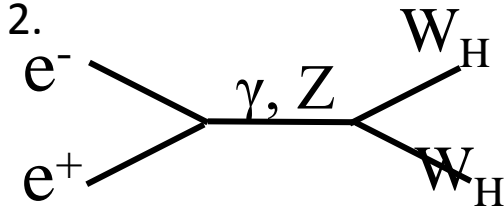
$$\Omega h^2 = 0.106 \pm 0.008$$



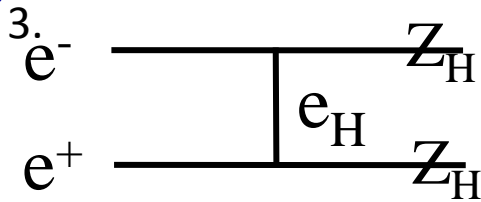
解析モード



- $m_{AH} + m_{ZH} < 500 \text{ GeV}$
- 500 GeV で生成可能。
- **LHTの初のシグナル。**

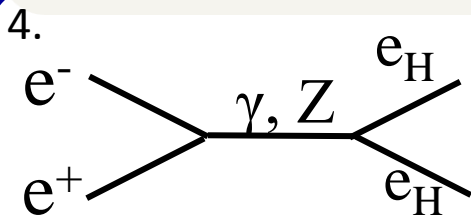


- 大きい散乱断面積
- **パラメータ f の精密測定。**

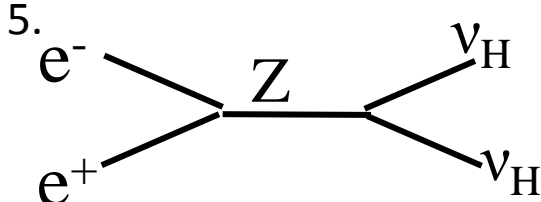


- パラメータ f の抽出。
- **ゲージセクターの質量スペクトルの完成。**

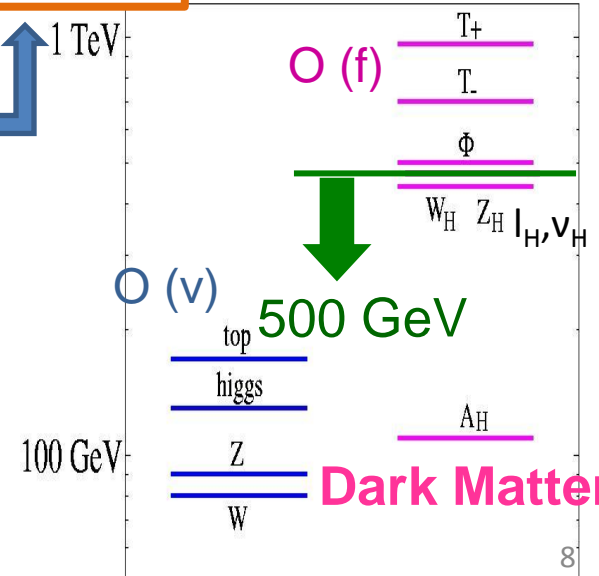
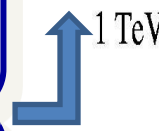
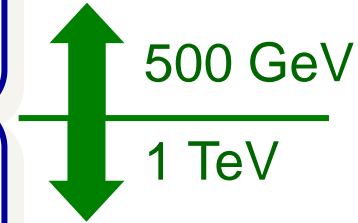
前の物理学会で発表



- **パラメータ κ の精密測定**
- e_H 質量の決定。



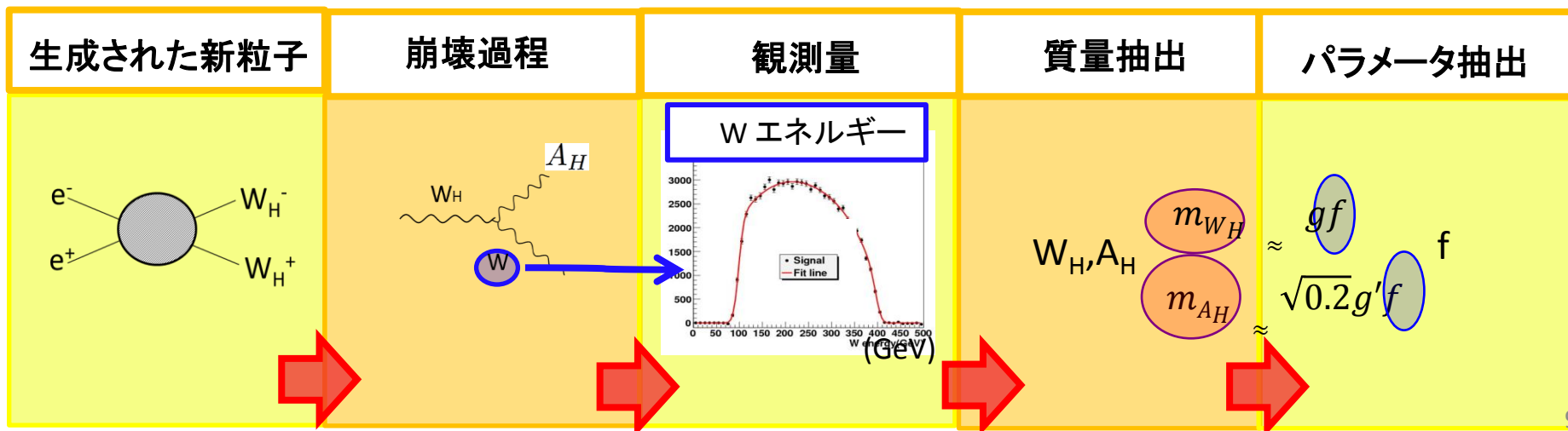
- **レプトンセクターの質量スペクトラムの完成。**



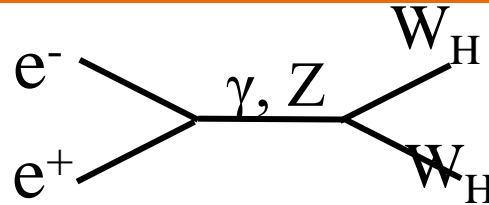
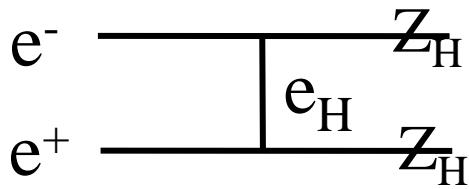
解析手順

<質量、パラメータ抽出>

- T-パリティ → 新粒子(T-odd)が2つ生成される。
- → 新粒子は標準模型(SM)粒子とLHT粒子に崩壊する。
- SM 粒子のエネルギーのエッジを見ることで、LHT粒子の質量を抽出。
- LHT 粒子の質量より、模型パラメータを抽出。



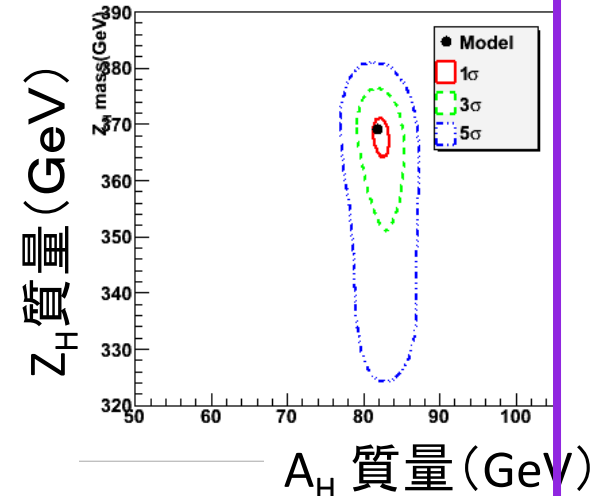
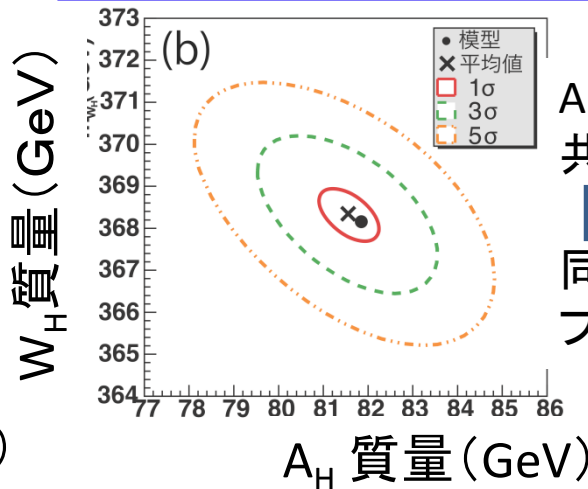
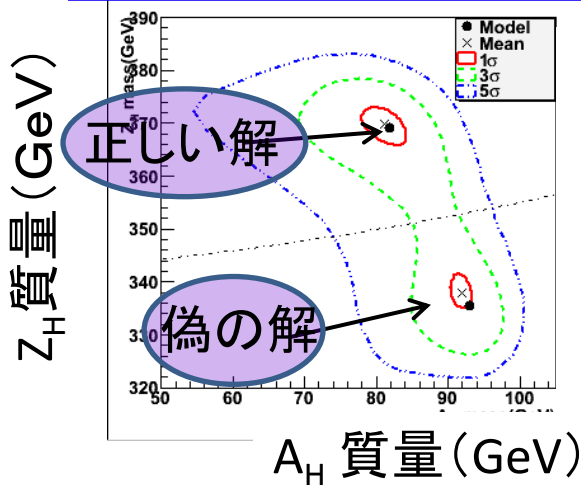
重いゲージボゾンセクター



$A_H Z_H$ の等高線プロット

$A_H W_H$ の等高線プロット

$A_H Z_H$ の等高線プロット



<質量分解能>

A_H : 1.3%, Z_H : 1.1%, W_H : 0.20%

<パラメータ分解能>

f : 0.16%

以前の物理学会で発表。

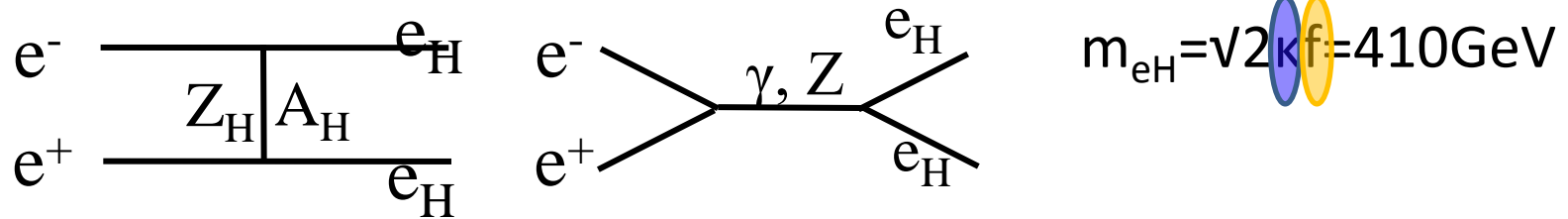
今回

重いレプトンセクター

$e_H e_H @ 1\text{TeV}$

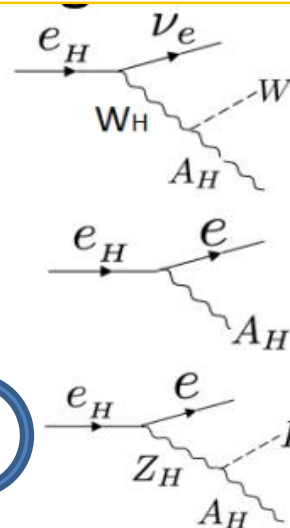
<目的>

e_H 質量を測定し、パラメータ κ (レプトン湯川結合) を抽出する。
質量生成メカニズムを知るのにおいて重要。



<信号>

$e_H e_H \rightarrow e Z_H e Z_H$
 $\rightarrow eeqqqq A_H A_H (4.56\text{fb})$



45% $W_H W_H$ と同じ信号
 e_H へのアクセス難しい。

30% SM & LHT 背景事象共に大きい

25% 2higgs + 2e という
特徴的終状態で
背景事象が少ない。

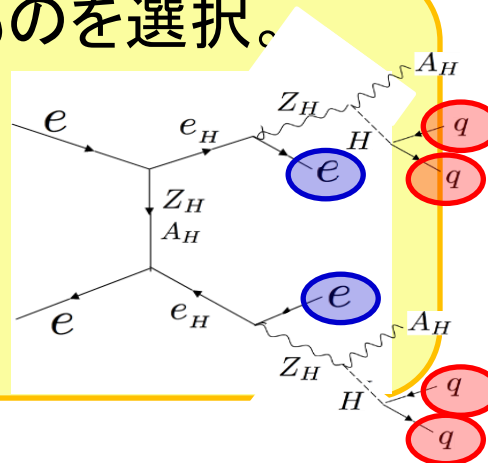
事象選定と再構成

<信号事象選定、再構成>

1. 孤立電子が2個検出され、その電荷が異符号のものを選択。
2. 残り全てを強制的に4ジェットとして再構成する。
3. 下の χ^2_H を最小とする組み合わせをとる。

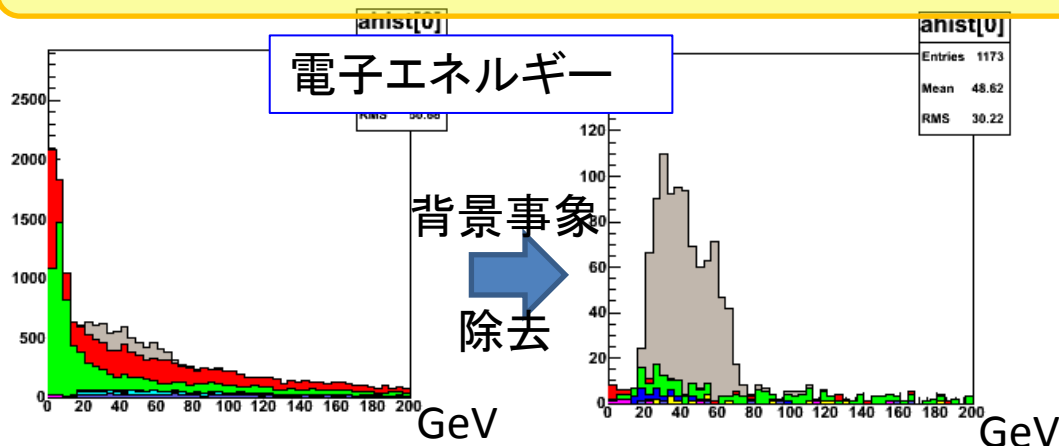
$$\chi_H^2 = \left(\frac{M_{H1} - M_H}{\sigma_{M_H}} \right)^2 + \left(\frac{M_{H2} - M_H}{\sigma_{M_H}} \right)^2$$

$$M_H = 134.0(\text{GeV})$$

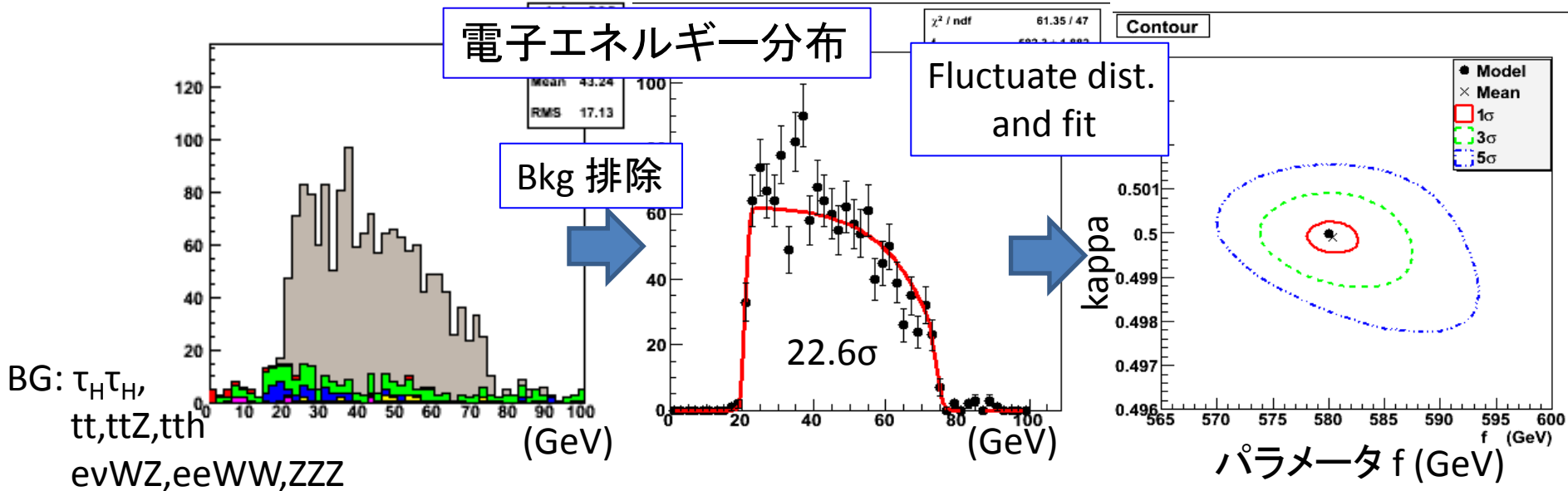


<背景事象の除去>

- $M_H - 40 < \text{ヒッグス質量} < M_H + 30(\text{GeV})$
- 横運動量損失 $> 30(\text{GeV})$



e_H 質量/パラメータ抽出



<質量、パラメータの測定精度>

■ 質量解、二解なし。(もう一つの解は十分小さい。)

質量 : $e_H: 412.8 \pm 1.7(\text{GeV})$ $Z_H: 371.2 \pm 1.5(\text{GeV})$

パラメータ : $f=579.6 \pm 3.0(\text{GeV})$ $\kappa=0.5000 \pm 4 \times 10^{-4}$

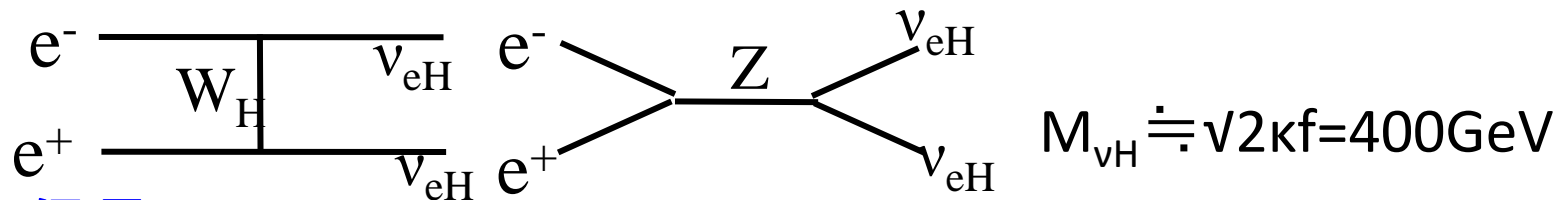
真値 : $f=580(\text{GeV})$, $\kappa=0.5$

重い電子の質量およびパラメータ抽出ができた。

$\nu_H \nu_H @ 1\text{TeV}$

<目的>

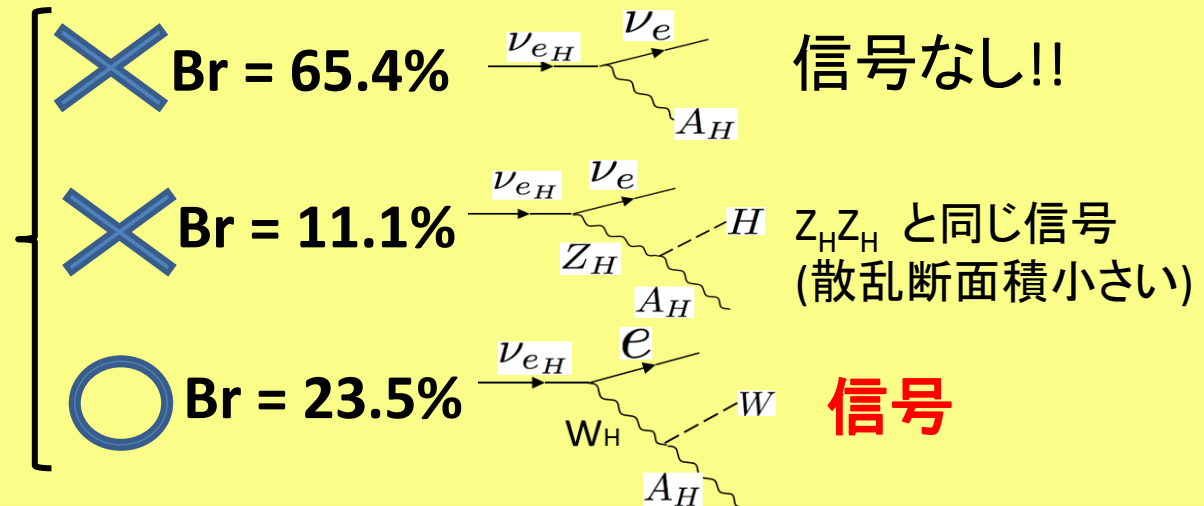
ν_H 質量を抽出し、LHTの質量スペクトラムを完成する。



<信号>

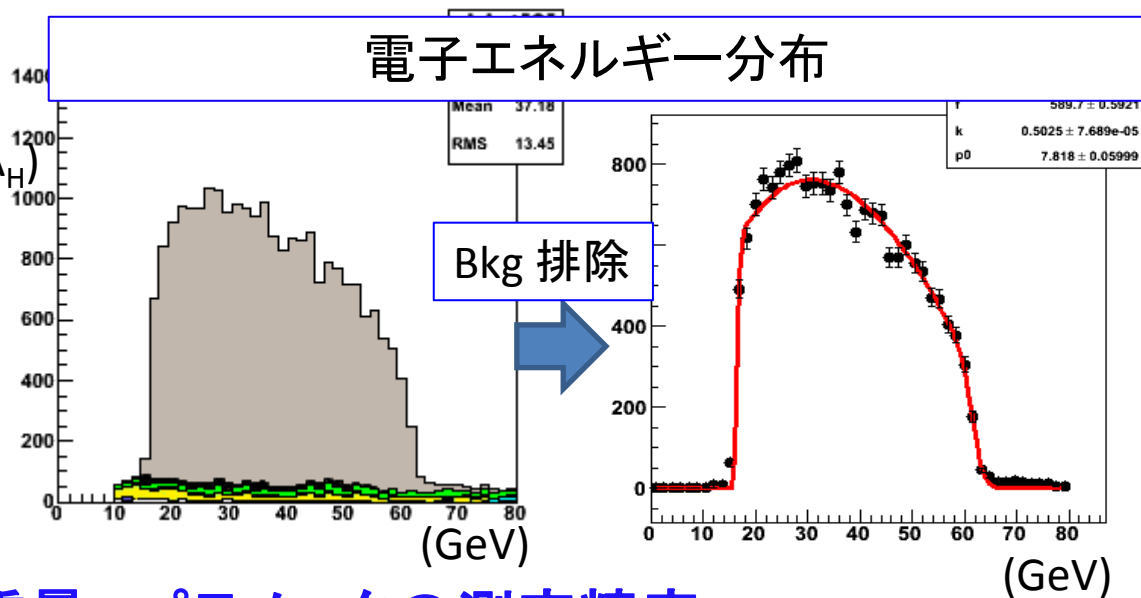
$\nu_H \nu_H \rightarrow e W_H e W_H$ (tot xsec : 1036fb)

$\rightarrow eeqqqq(2W)A_H A_H$ (25.95fb)



ν_H 質量、パラメータ抽出

SG: $eW_H eW_H (eeqqqq A_H A_H)$
 BG: $\nu_{\tau H} \nu_{\tau H}, e_H e_H, \tau_H \tau_H,$
 tt, ttZ, tth
 $evWZ, eeWW, ZZZ$



(事象選択)

- ・孤立電子数 $e = 2$
 + 荷電異符号
- ・ $60 < W$ 質量 < 100

<質量、パラメータの測定精度>

■ 質量解: 二解なし。(もう一つの解は十分小さい。)

質量: $\nu_H: 400.8 \pm 0.4 (\text{GeV})$ $W_H: 369.6 \pm 0.4 (\text{GeV})$

パラメータ: $f = 582.0 \pm 0.6 (\text{GeV})$ $\kappa = 0.5000 \pm 1 \times 10^{-4}$

真値: $f = 580 (\text{GeV})$, $\kappa = 0.5$

重いニュートリノの質量およびパラメータ抽出ができた。16

まとめ

- 1TeV,500fb⁻¹のILCの場合の、シミュレーションデータを用いて、リトルヒッグス粒子の質量とパラメータの測定精度の評価を行った。
- ILCで、高い精度でLHT粒子の質量及び、パラメータ測定することができ、質量、パラメータの一貫性を確認できる結果が得られた。

粒子	質量	測定精度
A _H	81.9(GeV)	1.3%
W _H	369(GeV)	0.20%
Z _H	368(GeV)	0.56%
e _H	410(GeV)	0.46%
v _H	400(GeV)	0.10%

パラメータ	真値	測定精度
f	580(GeV)	0.16%
K	0.5	0.01%